

**APLIKASI CITRA ALOS AVNIR-2
UNTUK ESTIMASI STOK KARBON dan SERAPAN CO₂
DENGAN MENGGUNAKAN INDEKS VEGETASI PADA HUTAN TROPIS
KABUPATEN GUNUNGKIDUL**

Syaiful Muflichin Purnama
pullipul.purnama08@gmail.com

Hartono
hartonogeografi@yahoo.com

Intisari

Penelitian kali ini bertujuan : (1) Mengetahui metode transformasi indeks vegetasi terbaik dalam pendugaan stok karbon, dan serapan CO₂ liputan pohon di hutan tropis kawasan KPH Kabupaten Gunungkidul, (2) Estimasi kandungan stok karbon liputan pohon di hutan tropis kawasan KPH Kabupaten Gunungkidul menggunakan metode allometrik dan penginderaan jauh, (3) Estimasi kandungan serapan CO₂ liputan pohon di hutan tropis kawasan KPH Kabupaten Gunungkidul menggunakan metode allometrik dan penginderaan jauh. Adapun citra penginderaan jauh yang digunakan adalah ALOS AVNIR-2 tahun 2009. Metode yang digunakan kombinasi antara penginderaan jauh dan peramaan allometrik. Penginderaan jauh berperan dalam menentukan tingkat kerapatan vegetasi dengan menggunakan tranformasi indeks vegetasi. Indeks vegetasi yang digunakan dalam penelitian adalah (SR, NDVI, TVI dan DVI). Indeks vegetasi DVI memiliki hubungan korelasi yang kuat dengan biomassa, kandungan karbon dan serapan CO₂. Hasil akhir nilai biomassa total 1274,032 kg/ha, nilai kandungan karbon total 603,806 kg/ha, dan nilai serapan CO₂ total 2973,382 kg/ha.

Abstract

This research is meant to: (1) knowing transformation method of the best vegetation index in prediction of carbon stock, and CO₂ absorption coverage the trees in tropical forest in the KPH area Gunungkidul Regency, (2) Estimation the content of carbon stock coverage the trees in tropical forest in the KPH area Gunungkidul Regency using allometrik method and remote sensing, (3) Estimation the content of CO₂ absorption coverage the trees in tropical forest in the KPH area Gunungkidul Regency using allometrik method and remote sensing. As for the Citra remote sensing used is ALOS AVNIR-2 in 2009. The method are used the combination of remote sensing and allometrik peramaan. Remote sensing have a role in determining the level of vegetation density using tranformation index vegetation. Index vegetation used in research are (SR, NDVI, TVI dan DVI). Index vegetation DVI have the strong correlation with biomass, carbon content and CO₂ absorption. The final result of biomass value total 1274,032 kg/ha, value of carbon content total 603,806 kg/ha, and the value absorption of CO₂ total 2973,382 kg/ha, absorption of total 2973,382 kg/ha.

Pendahuluan

Perubahan iklim merupakan isu yang sangat menjadi perhatian masyarakat baik didalam negeri maupun dibelahan dunia. Isu perubahan iklim muncul setelah tercetusnya Protokol Kyoto tahun 1997. Isi dari Protokol Kyoto secara garis besar membahas mengenai bagaimana negara-negara maju mampu berperan aktif dalam membantu menurunkan emisi gas rumah kaca.

Pemanasan global dan perubahan iklim menjadi marak dalam pembahasan isu lingkungan dunia. Efek dari terjadinya pemanasan global antara lain akibat adanya efek *Gas Rumah Kaca* (GRK). GRK terbentuk akibat banyaknya gas CO₂ menutupi lapisan atmosfer, sehingga saat sinar matahari menembus bumi sulit diteruskan kembali oleh atmosfer sehingga sinar matahari terpantulkan kembali ke permukaan bumi. Dalam usaha menurunkan GRK yang paling efektif dengan cara melestarikan hutan. Hutan merupakan suatu kesatuan ekosistem berupa hamparan lahan berisi sumber daya alami hayati yang didominasi pepohonan dalam persekutuan alam lingkungan yang satu dengan yang lainnya tidak dapat dipisahkan tertera pada UU No. 14 Tahun 1999.

Hutan mempunyai fungsi sebagai sumber penyerap karbondioksida terbesar dan mempunyai peran sangat penting dalam siklus karbon global. Hutan mampu menyerap kandungan CO₂ dan kemudian dapat dimanfaatkan oleh vegetasi untuk proses fotosintesis (Foley, 1993). Inventarisasi hutan merupakan salah satu langkah yang tepat untuk berperan aktif dalam mengurangi pemanasan global dan gas rumah kaca. Inventarisasi hutan bermacam-macam kegiatan, salah satunya estimasi stok karbon dan perhitungan serapan CO₂. Kegiatan pendugaan stok karbon sejauh ini masih banyak menggunakan metode manual, kurang memaksimalkan teknologi penginderaan jauh.

Teknik penginderaan jauh dapat dimanfaatkan sebagai alat dan metode untuk mendapatkan informasi estimasi stok karbon dan serapan CO₂. Teknik penginderaan jauh mampu menghemat waktu, biaya, dan tenaga

untuk menghitung stok karbon dan serapan CO₂ dengan liputan hutan yang sangat luas. Dengan bantuan transformasi indeks vegetasi SR, NDVI, TVI dan DVI dapat membantu dalam mengidentifikasi kerapatan vegetasi sehingga mempermudah dalam pendugaan nilai biomassa, stok karbon, dan serapan CO₂. Perhitungan biomassa, stok karbon dan serapan CO₂ menggunakan algoritma allometrik. Kolaborasi kedua metode tersebut memberikan penelitian mengenai biomassa, stok karbon dan serapan CO₂ menjadi lebih efektif dan efisien dari segi waktu, biaya dan tenaga.

Tujuan Penelitian

1. Mengetahui metode transformasi indeks vegetasi terbaik dalam pendugaan stok karbon, dan serapan CO₂ liputan pohon di hutan tropis kawasan KPH Kabupaten Gunungkidul
2. Estimasi kandungan stok karbon liputan pohon di hutan tropis kawasan KPH Kabupaten Gunungkidul menggunakan metode allometrik dan penginderaan jauh.
3. Estimasi kandungan serapan gas CO₂ liputan pohon di hutan tropis kawasan KPH Kabupaten Gunungkidul menggunakan metode allometrik dan penginderaan jauh.

Metode Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini :

1. Seperangkat komputer yang kompatibel dengan perangkat lunak yang digunakan.
2. Perangkat lunak yang mendukung penelitian (ENVI 4.5, Arc GIS 9.3).
3. Printer Cannon Pixma MP 287 (untuk mencetak naskah dan peta).
4. GPS (*Global Positioning Sistem*).
5. Meteran.
6. Kamera digital.
7. Software pengolah kata dan data (SPSS, Ms.Word, Ms.Powerpoint, Ms.Exel)
8. Plot sampel ukuran 20x20 meter.
9. Tabel lapangan.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini:

1. Citra Sateliti ALOS AVNIR-2 Kabupaten Gunungkidul, 4 saluran spektral (biru, hijau, merah, inframerah dekat) dengan resolusi spasial 10 m dan tanggal perekaman 20 Juli 2009.
2. Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) yang mencakup Kecamatan Playen, Kecamatan Patuk, Kecamatan Panggang, Kecamatan Paliyan, dan Kecamatan Wonosari Kabupaten Gunungkidul skala 1:25.000 edisi tahun 1998.

Penelitian estimasi stok karbon dan serapan CO₂ ini berlokasi di Kabupaten Gunungkidul berdasarkan lokasi Kesatuan Pengelolaan Hutan (KPH) yang dikeluarkan oleh Departemen Kehutanan Daerah Istimewa Yogyakarta tahun 2007 pembeharuan 2012. Luas wilayah hutan dalam lingkup KPH DIY meliputi 12 Kecamatan di Kabupaten Gunungkidul. Penelitian ini tidak mengambil seluruh lokasi, tetapi hanya mengambil 4 Kecamatan, Kecamatan Playen, Kecamatan Paliyan, Kecamatan Gedangsari dan Kecamatan Patuk. Pertimbangan pengambilan lokasi sampel adalah keberadaan hutan yang masih baik dan topografi yang beragam

Koreksi Citra

Koreksi Geometri

Koreksi geometrik citra penginderaan jauh berfungsi sebagai transformasi citra penginderaan jauh sehingga mempunyai sifat-sifat dalam bentuk, skala, dan sistem proyeksi. Koreksi ini dilakukan karena citra hasil perekaman mempunyai berbagai kesalahan. Kesalah sistem (kecondongan penyiam, kecepatan kaca penyiam, kesalahan panoramik, kecepatan wahana, rotasi bumi, dan prespektif) dan kesalahan non sistematis yang disebabkan oleh variasi ketinggian dan posisi (Lillesand dan Kiefer, 1990).

Kesalahan dalam koreksi geometrik pada umumnya di akibatkan oleh adanya kesalahan internal dan eksternal. Kesalahan internal meliputi kesalahan yang disebabkan oleh kesalahan geometrik sistem sensor dan bersifat sistematis, sementara kesalahan eksternal merupakan kesalahan bentuk objek pada data. Koreksi geometrik membutuhkan titik kontrol

sebagai acuan atau sering disebut *Ground Control Point* (GCP), jumlah GCP minimal ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$GCP = ((t + 1)(t + 2))/2 \dots\dots\dots(1)$$

Dalam persamaan tersebut (t) merupakan orde yang digunakan. Dalam pemilihan GCP objek yang dipilih merupakan objek yang dikenali pada citra dan peta acuan.

Koreksi Radiometri

Koreksi radiometrik merupakan perbaikan akibat adanya kesalahan atau cacat yang diakibatkan oleh kesalahan sistem optik karena pengaruh energi radiasi elektromagnetik pada atmosfer serta kesalahan karena pengaruh sudut elevasi matahari. Koreksi radiometrik di lakuakn pada citra penginderaan jauh diperlukan untuk memperbaiki kualitas citra sekaligus memperbaiki nilai-nilai piksel yang tidak sesuai (rusak) dengan nilai pantulan atau pancaran spektral obyek dipermukaan bumi. Adapun cara-cara yang ditempuh untuk melakukan koreksi radiometrik antara lain : (1) penyesuaian regresi (regresi adjusment), (2) Penyesuaian histogram (histogram adjusment), (3) Kalibrasi kenampaka gelap (darkground calibration), dan (4) kalibrasi bayangan (shadow calibration).

Transformasi Indeks Vegetasi

Indeks vegetasi yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya *Ratio Vegetation Index* (RVI), *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Transformed Vegetation Index* (TVI), dan *Modified Soil Adjusted Vegetation Index* (MSAVI). Berikut formulanya:

$$SR = \rho NIR / pred \dots\dots\dots(1)$$

$$NDVI = (NIR - red) / (NIR + red) I \dots\dots\dots(2)$$

$$TVI = \sqrt{\{(NIR - Red) / (NIR + Red)\} + 0,5} \dots\dots\dots(3)$$

$$DVI = 2,4(Saluran Inframerah Dekat - Saluran Merah) \dots\dots\dots(4)$$

Persamaan Allometrik

Metode allometrik meruakan hubungan logaritmik yang digunakan untuk pengukuran

pertumbuhan organ tanaman yang mengalami perubahan bentuk secara proporsional dan dinamis pada suatu liputan pohon (Wittaker dan Likens, 1975). Perhitungan kandungan biomassa dan estimasi karbon pada setiap jenis pohon memiliki persamaan alometrik yang berbeda-beda. Organ pohon yang dihitung dalam persamaan alometrik yaitu batang, cabang dan daun. Perhitungan ini dilakukan pada satu jenis tegakan pohon. Persamaan alometrik yang digunakan sebagai berikut :

Tabel 1. Persamaan Allometrik potensi biomassa pada organ above ground beberapa jenis pohon hutan tropika basah.

No.	Organ	Allometrik
1.	Batang	$Bb = 0,054 (D)^{2,579}$
2.	Cabang	$Bc = 0,016 (D)^{2,614}$
3.	Daun	$Bd = 0,053 (D)^{1,685}$
4.	Total	$Bt = 0,1 (D)^{2,513}$

Sumber : Yunianto (2012)

Keterangan :

Bb = Biomassa batang
 Bc = Biomassa cabang
 Bd = Biomassa daun
 Bt = Biomassa total

Tabel 2. Persamaan Allometrik kandungan karbon pada organ above ground beberapa jenis pohon hutan tropika basah.

No.	Organ	Allometrik
1.	Batang	$Bb = 0,025 (D)^{2,597}$
2.	Cabang	$Bc = 0,007 (D)^{2,618}$
3.	Daun	$Bd = 0,022 (D)^{1,701}$
4.	Total	$Bt = 0,045 (D)^{2,532}$

Sumber : Yunianto (2012)

Keterangan :

Cb = Karbon batang
 Cc = Karbon cabang
 Cd = Karbon daun
 Ct = Karbon total

Tabel 1.6 Persamaan Allometrik serapan gas CO₂ pada organ above ground beberapa jenis pohon hutan tropika basah

No.	Organ	Allometrik
1.	Batang	$CO_2b = 0,088 (D)^{2,606}$
2.	Cabang	$CO_2c = 0,027 (D)^{2,616}$
3.	Daun	$CO_2d = 0,086 (D)^{1,688}$
4.	Total	$CO_2t = 0,162 (D)^{2,536}$

Sumber : Yunianto (2012)

Keterangan :

CO₂b = Serapan gas karbondioksida batang
 CO₂c = Serapan gas karbondioksida cabang
 CO₂d = Serapan gas karbondioksida daun
 CO₂t = Serapan gas karbondioksida total

Analisis Regresi

Analisis regresi digunakan untuk mengetahui hubungan dua variabel atau lebih yang bersifat kuantitatif. Hubungan kedua variabel atau lebih antara variabel bebas (X) dengan variabel tidak bebas/terikat (Y). Kedua variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah data penginderaan jauh sebagai variabel bebas dan data biomassa, serapan CO₂, dan kandungan karbon sebagai variabel terikat. Proses analisis korelasi ini menggunakan bantuan software SPSS dan Microsoft Excel.

Nilai korelasi (r) berkisar antara 0-1 dengan arah hubungan yang dapat berupa positif atau negatif.

$$r_{xy} = \frac{n \sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{\{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2\} \{n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2\}}} \dots (5)$$

Keterangan : N = jumlah sampel
 X = variabel bebas
 Y = variabel terikat
 R = koefisien korelasi

Analisis regresi digunakan untuk memperkirakan nilai biomassa berdasarkan nilai variabel terpilih. Jenis regresi yang digunakan adalah regresi logaritma karena baik nilai citra maupun nilai biomassa memiliki batas nilai akhir. Batas nilai ini akan mempengaruhi bentuk kurva pencaran yang melengkung. Adapun persamaan untuk regresi linier sederhana adalah :

Analisis regresi digunakan untuk memperkirakan nilai biomassa berdasarkan nilai variabel terpilih. Jenis regresi yang digunakan adalah regresi eksponensial karena baik nilai citra maupun nilai biomassa memiliki batas nilai akhir. Batas nilai ini akan mempengaruhi bentuk kurva pencaran yang melengkung. Adapun persamaan untuk regresi eksponensial adalah :

$$y = b.e^{ax} \dots\dots\dots(6)$$

Y = regresi eksponensial Y terhadap X (biomassa)

X = variabel bebas (nilai citra)

a = harga konstan

b = arah koefisien regresi

Hasil dan Pembahasan

Koreksi Citra Satelit ALOS AVNIR-2

Koreksi Geometri

Koreksi geometrik dilakukan dengan metode *image to map* dengan bantuan peta RBI sebagai dasar dari proses penyamaan koordinat dengan citra. Metode koreksi ini dibutuhkan (*ground control point*) atau titik ikat yang dipilih untuk menyamakan posisi antara citra dan peta RBI. Titik ikat ini dipilih berdasarkan objek yang tetap atau dapat dikatakan objek tidak bergerak atau berpindah tempat, seperti sungai, jalan, bukit, igir dan patahan. Proses koreksi geometrik ini menggunakan proyeksi UTM (*Universal Transverse Mercator*) dengan datum 1984 zona 49 S. Daerah penelitian cenderung berbukit dan bergunung, sehingga termasuk dalam orde 3.

Koreksi Radiometri

Koreksi radiometri diperlukan untuk meminimalkan kesalahan yang disebabkan oleh gangguan atmosfer. Citra yang digunakan tergolong pada level 1B2. Sehingga dapat diartikan bahwa citra yang digunakan telah mengalami koreksi radiometrik. Tidak ada koreksi tambahan seperti koreksi atmosfer, karena kenampakan objek dalam liputan daerah penelitian cenderung tidak ada awan dan sangat jelas.

Citra ALOS AVNIR-2 dengan level koreksi 1B2 menandakan bahwa citra ini sudah terkoreksi baik geometri maupun radiometrinya secara sistematis. Sehingga dapat dikatakan bahwa citra ini sudah layak digunakan untuk penelitian. Namun untuk memastikan citra tersebut telah benar-benar terkoreksi radiometri maka dilakukan pengecekan. Objek yang tidak memberikan respon spektran sama sekali seharusnya bernilai nol, jika tidak bernilai 0 maka dilakukan koreksi radiometri dengan penyesuaian histogram.

Pengumpulan Sampel

Sampel dipilih berdasarkan kondisi tingkat kerapatan di daerah kajian dengan mempertimbangkan nilai NDVI. Hasil transformasi indeks vegetasi NDVI didapatkan nilai minimum 0,026 dan nilai maksimum 0,437.

Sampel lapangan diambil berdasarkan plot yang telah dibuat dengan ukuran di lapangan 20 x 20 meter. Ukuran plot lapangan ditentukan berdasarkan pertimbangan ukuran resolusi spasial citra ALOS AVNIR-2 dengan resolusi 10 meter pada 1 piksel. Apabila ukuran sampel lapangan 20 x 20 meter, jumlah piksel yang diperoleh yaitu 9 piksel dalam satu plot di lapangan.

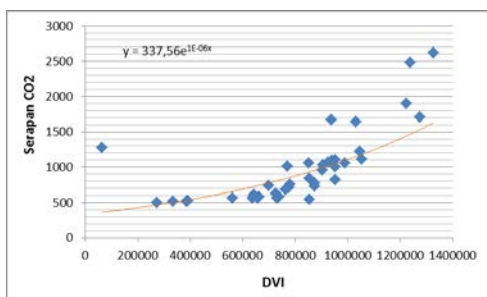
Analisis Korelasi

Analisis korelasi dibutuhkan untuk mengetahui hubungan antara biomassa, kandungan karbon dan serapan CO₂ dengan berbagai jenis indeks vegetasi. Hasil dari analisis korelasi tersebut dapat dilihat berdasarkan nilai koefisien korelasi (r) dan koefisien determinasi (R²), dengan arah hubungan negatif atau positif. Nilai hubungan

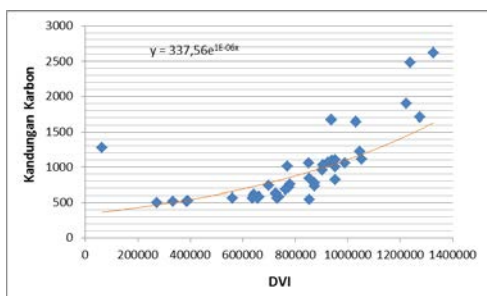
korelasi antar variabel akan menghasilkan nilai berkisar 0-1. Korelasi dikatakan kuat apabila nilai korelasi mendekati angka 1. Sedangkan apabila nilai mendekati 0 menunjukkan nilai korelasi lemah. Koefisien determinasi menunjukkan seberapa besar peran variabel untuk dapat mempengaruhi hubungan yang terjadi dengan variabel lain.

Tabel 1. Perbandingan nilai koefisien korelasi terhadap biomassa, kandungan karbon dan serapan CO₂

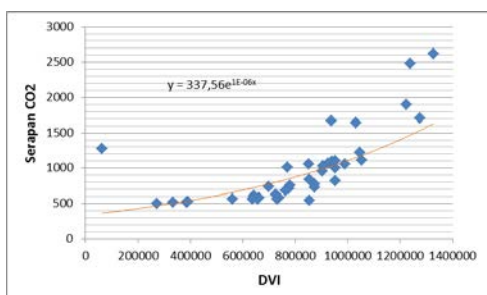
No.	Indeks Vegetasi	Biomassa		Kandungan Karbon		Serapan CO ₂	
		r	R ²	r	R ²	r	R ²
1.	NDVI	0,78	0,62	0,78	0,61	0,66	0,44
2.	SR	0,87	0,76	0,87	0,75	0,77	0,60
3.	DVI	0,80	0,65	0,80	0,64	0,69	0,47
4.	TVI	0,79	0,62	0,78	0,62	0,66	0,44



Gambar 1. Grafik hubungan nilai SR dengan biomassa



Gambar 2. Grafik hubungan nilai SR dengan kandungan karbon



Gambar 3. Grafik hubungan nilai SR dengan serapan CO₂

Dari hasil tersebut indeks vegetasi SR memiliki tingkat korelasi positif paling tinggi, tetapi nilai SR memiliki kelemahan dengan terlalu berlebihan dalam analisis objek homogen. Sehingga dalam penelitian ini indeks DVI yang dipilih karena lebih tepat dan lebih sesuai.

Perhitungan Allometrik

Dari hasil analisis regresi eksponensial kemudian didapatkan persamaan untuk biomassa $y = 530,1 \log x + 337,56$, persamaan untuk kandungan karbon $y = 257,46 \log x + 337,56$, dan persamaan untuk serapan CO₂ $y = 919,63 \log x + 337,56$. Dari hasil persamaan tersebut kemudian didapatkan nilai biomassa total 1.899,3 kg/ha, kandungan karbon 1.010,9 kg/ha dan serapan CO₂ 3.267 kg/ha. Hasil nilai biomassa, kandungan dan serapan CO₂ dihitung menggunakan algoritma allometrik berdasarkan perhitungan diameter pohon di lapangan. Ukuran diameter pohon sangat mempengaruhi besar kecilnya nilai biomassa, kandungan karbon dan serapan CO₂. Dari hasil perhitungan diameter pohon didapatkan nilai kandungan karbon terendah 117,462 kg/ha dan nilai tertinggi 682,027 kg/ha, untuk serapan CO₂ nilai terendah dan nilai 499,690 kg/ha dan nilai tertinggi 2623,534 kg/ha.

Kesimpulan

1. Citra ALOS AVNIR-2 baik digunakan untuk melakukan estimasi biomassa, dan kandungan karbon, hutan dengan bantuan transformasi indeks vegetasi dengan hubungan korelasi yang kuat. Sementara untuk estimasi serapan CO₂, memiliki nilai hubungan korelasi yang cukup kuat pada beberapa indeks vegetasi tertentu.
2. Indeks vegetasi DVI memiliki hubungan korelasi kuat di ketiga perhitungan biomassa, kandungan karbon dan serapan CO₂. Nilai korelasi lebih dari 0,5 yang dapat diartikan indeks vegetasi terindikasi hubungan kuat dengan biomassa, kanduga karbon dan serapan CO₂.
3. Hasil perhitungan allometrik dari indeks vegetasi DVI biomassa, kandungan karbon dan serapan

- CO₂ dibagi menjadi 5 kelas yaitu sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, sangat tinggi.
4. Nilai kandungan biomassa minimum 295,24 kg/ha dan nilai maksimum 1526,05 kg/ha.
 5. Nilai kandungan stok karbon minimum 137,75 kg/ha dan nilai maksimum 721,27 kg/ha.
 6. Nilai serapan CO₂ minimum 499,7 kg/ha per tahun dan nilai maksimum 2623,54 kg/ha per tahun.
 7. Informasi BDH sangat dibutuhkan dalam perhitungan allometrik biomassa, kandungan karbon dan serapan CO₂ sehingga menghasilkan estimasi biomassa, kandungan karbon dan serapan CO₂.
 8. Tingkat kerapatan suatu tutupan hutan sangat mempengaruhi keberadaan nilai suatu kandungan biomassa hutan dan stok karbon.

Daftar Pustaka

- BPS. 2010. *Monografi Gunungkidul 2010*. Yogyakarta : Badan Pusat Statistik
- BPS. 2010. *Statistik Daerah Gunungkidul 2012*. Yogyakarta : Badan Pusat Statistik
- Brown, S. 1997. *Estimating biomass and Biomass change of Tropical forest : a primer*. FAO. Forestry paper No.134. Food and Agriculture of the United National, Rome
- Burton, A.J., dan K.S. Pregitzer. 2008. *Measuring Forest Flour, mineral Soil, and Root Carbon Stocks. Field Measurements for forest Carbon monitoring*. Springer Science new york, chap 10 : 129-142
- Chave, Jeremo, Richard Condit, Salomon Aguilar, Andreas Hernandez, Suzanne Lao and Rolando Perez, 2004. *Error propagation and scaling for tropical forest biomass estimate*. Phil Trans. R. Soc. B. DOI 10.1098/rstb. 2003.1425
- Choirudin. 2009. *Inventore Kandungan Karbon Pada Hutan Rakyat Jenis Akasia (Acacia auriculiformis) dan Peluangnya dalam Perdagangan Karbon*. Skripsi. Yogyakarta: Fakultas Kehutanan Universitas Gadjah Mada.
- Danoedoro, Projo. 1996. *Pengolahan Citra Digital Teori dan Aplikasinya Dalam Bidang Penginderaan Jauh*. Yogyakarta : Fakultas Geografi
- Danoedoro, Projo. 2012. *Pengantar Penginderaan Jauh Digital*. Yogyakarta : Penerbit Andi
- Foley, G. 1993. *Pemanasan Global*. Jakarta : Penerbit Yayasan Obor.
- Dephut. 1999. *Undang-undang Nomor 41 Tahun 1999 Tentang Kehutanan*. Jakarta : Sekretariat Jendral Departemen Kehutanan dan Perkebunan
- Howard, John A, 1996, *Remote Sensing of Forest Resources: Theory and Application*, (Diterjemahkan oleh Hartono, Dulbahri, Suharyadi, Danoedoro, dan Jatmiko). Chapman & Hall, London. IPCC (Intergovernmental Panel on climate Change). 1996. *Revised Guidelines*. Cambridge University Press. Cambridge
- Krankina, N.O., dan Harmon. M. 2006. *Forest Management Strategies for Carbon Storage, In : Forest, Carbon and Climate Change, A Synthesis of Science Finding*. The Oregon Forest Resources Institute Oregon State University Collage of Forestry Departement of Forestry
- Lillesand, T.M. and R.W. Kieffer, 1990. *Penginderaan Jauh dan Interpretasi Citra*, Edisi Terjemahan. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press
- Lisnawati. 2008. *Inventore Kandungan Karbon Hutan Berdasarkan Diameter Batang Pohon pada Tegakan Jati (Tectona grandis Linn.F.) di KPH Purwodadi, Jawa Tengah*. Skripsi. Yogyakarta : Fakultas Kehutanan Universitas Gadjah Mada.
- Mugiono IS. 2009. *Allometrik Berbasis Jenis pohon untuk Menaksir kandungan Biomassa dan Karbon di Hutan Rakyat*. Yogyakarta : BPKH Wilayah XI Jawa-Madura dan MFPII

- Pambudhi, Annisa. 2011. *Estimasi Stock Karbon Hutang Dengan Menggunakan Citra ALOS AVNIR-2 Disebagian Kecamatan Long Pahangai Kabupaten Kutai Barat*. Yogyakarta: Skripsi
- Prahasta, E. 2008. *Remote Sensing : Praktis Penginderaan Jauh dan Pengolahan Citra Digital Dengan Perangkat Lunak ER Mapper*. Bandung : Informatika
- Rahayu W.F, Lies. 2012. *Rekontruksi Hutan Kawasan Karst Gunung Sewu D.I. Yogyakarta* Yogyakarta : Desertasi
- Ravan, Shirish A and Roy, P.S. 1996. *Biomass Estimation using Satellite Remote Sensing Data-An Investigation On Possible Approaches For Natural Forest*. New Delhi : Forestry and Ecology Division, India Institute of Remote Sensing.
- Solichin. 2009. *Panduan Inventarisasi karbon di Ekosistem hutan Gambut*. Palembang : Merang REDD pilot Project
- Standar Nasional Indonesia. 2011. *Pengukuran dan Perhitungan Cadangan Karbon- Pengukuran Lapangan untuk Penaksiran Cadangan Karbon hutan (Ground Based Forest Carbon Accounting)*. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional
- Sutanto. 1987. *Penginderaan Jauh Jilid I*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press
- Sutanto. 1987. *Penginderaan Jauh Jilid II*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press
- Sutaryo, Dandun. 2009. *Penghitungan Biomassa Sebuah pengantar untuk studi karbon dan perdagangan karbon*. Bogor : Wetlands International Indonesia Programme
- Yunianto, Andhika Silva. 2012. *Estimasi Biomassa dan Karbon Batang, Cabang, dan Daun Beberapa Jenis Hutan Tropika Basah Pada Areal Bekas Tebangan Di PT. Sari Bumi Kusuma Kaliman Tengah*. Yogyakarta : Skripsi

